

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ СКВАЖИН

Е. В. Ковалевский, ведущий инженер отдела сопровождения DV-Geo, канд. физ.-мат. наук

Г. Н. Гогоненков, первый заместитель генерального директора, д-р техн. наук

М. В. Перепечкин, начальник отдела программных средств DV-Geo, канд. техн. наук

ОАО ЦГЭ

Модели (детерминированные, геостатистические) резервуаров на разбуренных площадях, основанные на данных многих десятков и сотен скважин, можно значительно уточнить, если использовать автоматическую корреляцию скважин по данным ГИС. Идея реализовать автоматическую корреляцию скважин не нова, однако отношение к ней специалистов неоднозначно. С одной стороны, очевидно, что геолог не в состоянии точно сопоставить каждую из сотни скважин с каждой из пяти-шести, окружающих ее. При таком сопоставлении необходимо принимать во внимание данные всех наличных методов ГИС, которые по-разному отображают случайные и регулярные черты геологической среды. Исключить все случайные черты и точно увязать все закономерные может только компьютер. Но, с другой стороны, еще более очевидно, что стратиграфические маркеры на скважинах, определяя геометрический каркас модели, фактически закрепляют некоторую гипотезу в отношении генезиса исследуемого геологического объекта. Это означает, что они должны выражать не только формальное сходство участков каротажных кривых, но и наши знания о законах формирования геологической среды, обстановках осадконакопления, постседиментационных процессах. Последняя задача явно непосильна уже и компьютеру. Выбор в данной ситуации делается в пользу геолога, однако когда результаты ручной корреляции приходится в очередной раз пересматривать, вновь появляется желание как-то ее формализовать.

На сегодняшний день существует ряд программ поддержки корреляции ГИС. Каждая из них предлагает некоторый баланс ручных и автоматических процедур. Наиболее известной является программа Autocorr, разработанная под руководством И. С. Гутмана [1–3]. Суть реализованного подхода состоит в построении триангуляционной сети скважин и в выработке в каждой паре сква-

жин корреляционной гипотезы в отношении некоторого пласта. Далее проверяется согласованность корреляционных гипотез по треугольникам. Вмешательство геолога (он может просматривать данные ГИС на электронном планшете и вручную исправлять корреляционные гипотезы в парах скважин) требуется только в тех треугольниках, в которых согласованность корреляции заметно нарушена. Сначала таким образом коррелируются наиболее мощные пласты, затем более тонкие.

Подход, используемый авторами статьи, по своей направленности точно совпадает с подходом И. С. Гутмана. Отличие состоит только в том, что баланс автоматических и ручных процедур устанавливается иным образом [4–6]. С помощью автоматической процедуры решается более простая и более скромная формальная задача – не трассирование отдельных (на последних этапах даже тонких) пластов, а корреляция протяженных (порядка 60–100 м) интервалов скважин – пачек пластов. Что такое корреляция интервалов? Смещая заранее выделенные интервалы друг относительно друга мы добиваемся максимальной корреляции между ними в горизонтальном направлении. В чем простота этой задачи? Пласты, даже мощные, имеют размыты, т. е. области, в которых они отсутствуют. Поэтому автоматически проследить на всей площади один пласт нельзя. В случае же достаточно протяженных интервалов объективные основания для их корреляции (ненарушенные пласты в верхней, в центральной или в нижней части интервалов) есть всегда. Это означает, что автоматически рассчитать на всей площади корреляцию интервалов можно. Скромность же решаемой задачи в том, что полученный корреляционный репер даст нам не конкретный пласт, а всего лишь некоторую формальную (квазистратиграфическую) поверхность, идущую параллельно рельефу самого выразительного в пределах интервала стратиграфического горизонта. Поскольку выразительность горизонтов на площади меняется (некоторые временами вообще исчезают), повсеместно отождествить формальную корреляционную поверхность с тем или иным конкретным стратиграфическим горизонтом будет нельзя.

В чем же тогда сила получаемого решения? Сила его в том, что расчет такой формальной поверхности можно

выполнить без ручного вмешательства. Вырабатывая изначально в каждой паре скважин некоторое число альтернативных корреляционных гипотез (допустим, 20), мы затем поэтапно, в автоматическом режиме исключаем лишние варианты, пока не получим весомый набор безальтернативных гипотез, согласованных на всей триангуляционной сети. Получаемый результат не трудоемок и, что важнее, объективен. Для чего эти поверхности нам нужны? Стопка из таких формальных поверхностей (рассчитанных последовательно через промежутки в 20–30 м) позволяет выполнить интерполяцию данных ГИС и рассчитать трехмерный образ геологического объекта. Названный образ, строго говоря, нельзя назвать итоговой моделью. Формальные поверхности, составляющие его каркас, редки и не имеют ясного геологического смысла. Поэтому интерполяция вдоль них, возможно, недостаточно точна. Тем не менее данный образ, палеореконструированный по своим формальным поверхностям, позволяет геологу легко решить вторую, содержательную часть проблемы корреляции – исследовать древнюю обстановку осадконакопления и построить геологически обоснованный структурный каркас модели; т. е. предлагаемый баланс ручных и автоматических процедур состоит в следующем: ручной этап корреляции выполняется внутри рассчитанной автоматически трехмерной визуальной среды. Дополнительное облегчение ручного этапа корреляции происходит за счет того, что для задания большинства стратиграфических границ достаточно лишь слегка подправить поверхности, повторяющие формальный каркас. В результате точность задания стратиграфического каркаса модели (и в содержательном, и в формальном аспекте) существенно возрастает.

Процедура автоматической корреляции интервалов скважин по данным ГИС реализована в системе геологического моделирования DV-Geo. Сделаем важное замечание: предлагаемая методика корреляции опирается не только на автоматическую процедуру, но и на возможности DV-Geo в части динамической визуализации. Можно даже сказать больше: методика, основанная на автоматической корреляции, впервые потребует возможности динамической визуализации DV-Geo в полном объеме.

Рассмотрим выполнение корреляции на площади в Западной Сибири, на которой имеется около 1500 скважин. До начала автоматической корреляции были определены методы каротажа, данные которых, полученные в разных скважинах, можно сопоставлять. Было решено, что после небольшого редактирования в ходе автоматической процедуры можно использовать данные пяти методов ГИС – ПС, БК, НКТ, ИК и ГК (рис. 1). В чем состояло редак-

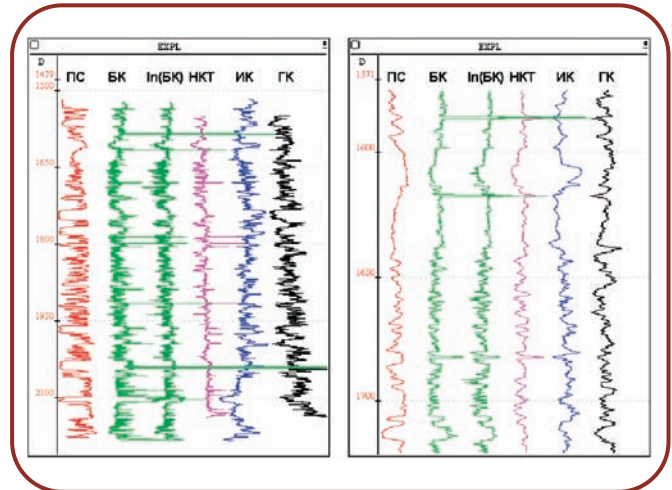


Рис. 1. Данные ГИС, используемые при автоматической корреляции

тирование данных? На некоторых кривых ПС вручную были исправлены переключения уровня. Затем были рассчитаны кривые альфа-ПС. Поскольку часть кривых ПС имела видимый дрейф, необходимые для расчета альфа-ПС минимумы и максимумы исходной кривой определялись в плавающем окне шириной 100 м. Кривые БК логарифмировались. Данные всех методов (кроме кривых альфа-ПС) перед автоматической корреляцией нормировались на среднее.

Имеющиеся материалы ручной корреляции были неполными и касались, главным образом, верхних горизонтов группы АВ. При расчете первого автоматического репера использовали отметки, проставленные вручную. Ручные отметки определяли центры коррелируемых интервалов, гарантируя их сопоставимость. После ряда пробных расчетов ширина коррелируемых интервалов была выбрана равной 80 м. Поскольку 70 % покрытия интервала корреляции кривой альфа-ПС требовалось обязательно, часть скважин в расчет не попала. Триангуляционная сеть скважин показана на рис. 2. На представленной сети был рассчитан первый автоматический репер. Дальнейшее повторялось 18 раз. Полученный автоматический репер копировался со смещением на несколько метров вниз так, чтобы он примерно наложился на следующий ручной. Отметки-копии принимались за центры новых интервалов корреляции и вновь производилось их уточнение. Всего было рассчитано 19 автоматических реперов, условно соответствующих реперам, проставленным (а для нижних горизонтов только намеченным) вручную. Средняя глубина горизонтов при этом менялась от 1600 до 2200 м. С ростом глубины число

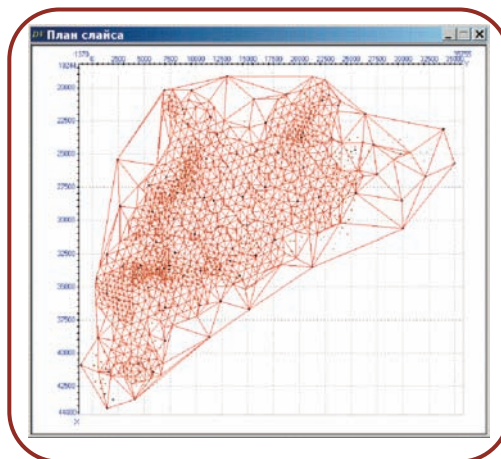


Рис. 2. Триангуляционная сеть скважин при расчете первого автоматического репера

скважин, включенных в расчет, уменьшалось – от 1501 для самого верхнего горизонта до 214 для самого нижнего. Поскольку каждый автоматический репер хотя бы формально просматривался, вся работа была выполнена за несколько дней.

Для чего необходимо просматривать каждый вновь рассчитанный репер? Согласование корреляционных связей той или иной скважины с окружающими еще не гарантирует, что автоматический репер на этой скважине установлен точно. Если по какой-либо причине (обычно это или пропуски, или явный брак в данных каротажа) согласованная корреляция скважины со всеми окружающими неверна, репер будет установлен с ошибкой. Каждая такая ошибка имеет вид одиночного «выброса», т. е. заметить и исправить ее легко. Если число подобных ошибок превышает 1 %, необходимо увеличить ширину коррелируемых интервалов.

Представление о том, как соотносятся результаты ручной и автоматической корреляции, дает профиль на рис. 3. Для большей наглядности показаны два варианта выравнивания скважин – вверху по ручному реперу, а внизу по автоматическому. Тщательный анализ случаев расхождения отметок (везде, не только на этом профиле) приводит к выводу, что автоматическая корреляция всегда точнее ручной. Причина этого в том, что геолог не в состоянии различить на каротажных кривых случайные и регулярные черты геологической среды. Стратиграфические границы, трассируемые автоматически, получаются более гладкими (друг относительно друга), чем трассируемые вручную.

Выполнив автоматическую корреляцию, мы не считаем, что наша цель – построение геологически обоснованного структурного каркаса модели – достигнута. Теперь наша задача – получить образ геологического объекта. Набор автоматических реперов используется для расчета стопки формальных корреляционных поверхностей. При расчете поверхностей необходимо учитывать, что число корреляционных отметок с ростом глубины уменьшается. Чтобы рельеф поверхности при этом не упрощался, необходимо по очередному более глубокому реперу интерполировать не саму очередную поверхность, а мощность слоя между очередной поверхностью и предыдущей. Интерполяция мощности слоя и последующее суммирование этой мощности с предыдущей поверхностью выполняется посред-

ством процедур на встроенном языке Th.

Стопка формальных корреляционных поверхностей служит для построения стратиграфической сетки, после чего посредством интерполяции значений альфа-ПС в скважинах выполняется расчет куба параметра альфа-ПС. Вид куба альфа-ПС показан на рис. 4. Палитра отображения значений альфа-ПС подобрана так, что желтый

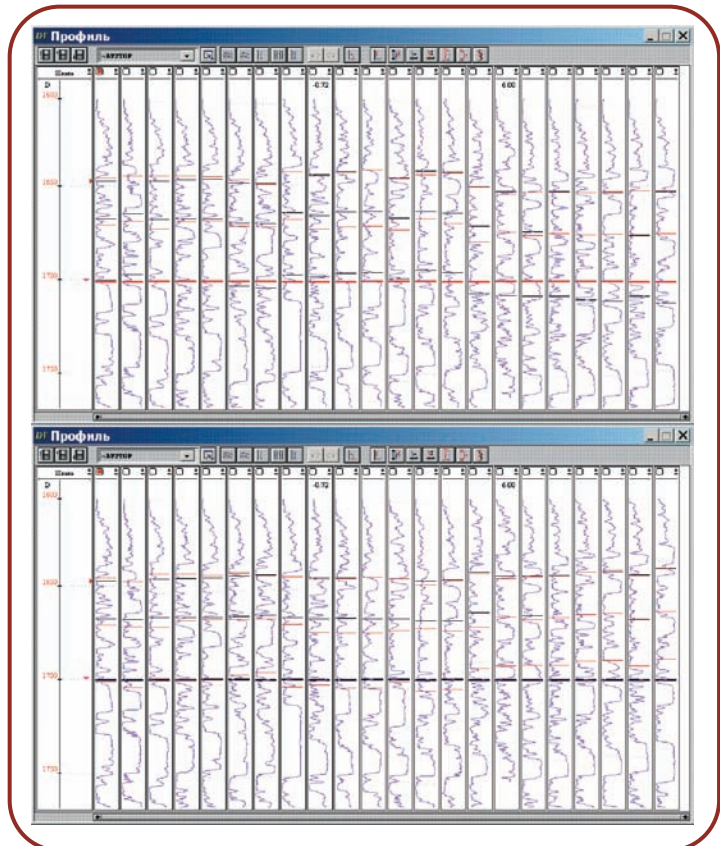


Рис. 3. Сравнение результатов ручной (красные отметки) и автоматической (черные отметки) корреляции. Приведены два варианта выравнивания скважин; каротажные кривые показывают значения альфа-ПС

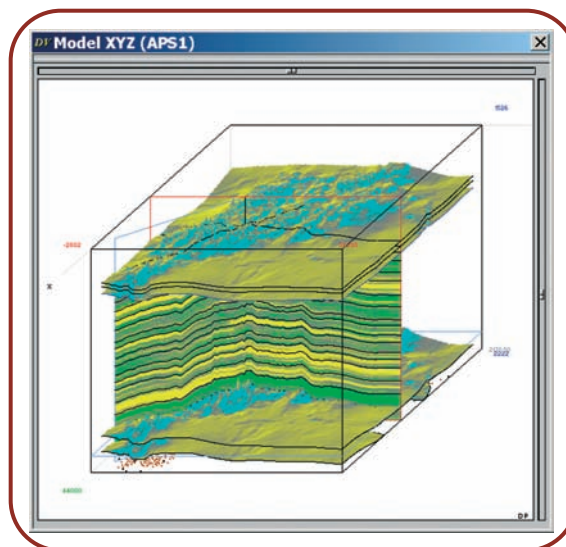


Рис. 4. Стопка из 19 корреляционных поверхностей направляет интерполяцию значений альфа-ПС между скважинами

цвет соответствует песчаникам, зеленый – глинам. Куб альфа-ПС дает нам искомый образ.

Следующий этап – исследование геологического объекта. Это исследование удобнее проводить в условиях палеореконструкции (по тем же самым формальным поверхностям). После выравнивания границ мы можем использовать горизонтальный слайс (рис. 5). Именно горизонтальный слайс позволяет идентифицировать обстановку осадконакопления как терригенную, с присутствием палеорусел. Каждый слайс в кубе можно «открыть» как дополнительное окно, отдельные области которого можно затем увеличить.

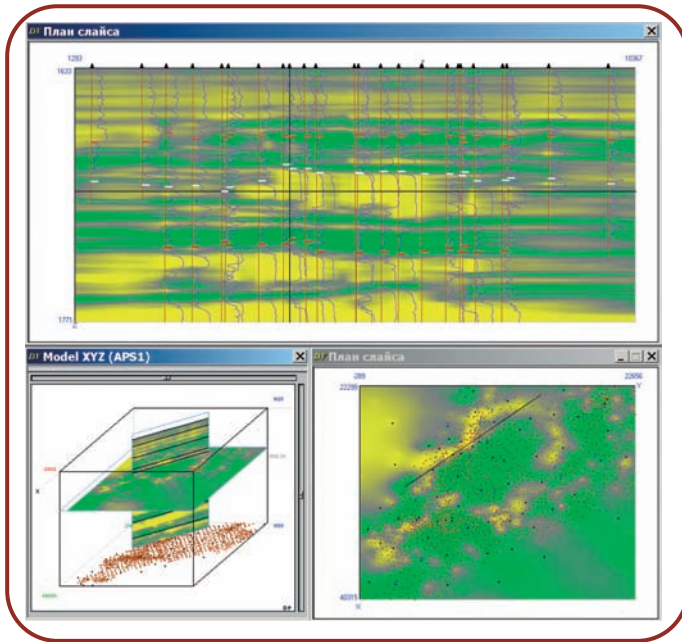


Рис. 5. Исследование геологического объекта в условиях палеоре-конструкции. Слайсы выделяют палеоруслу; отметки на скважинах представляют результаты ручной корреляции

На фоне вертикального слайса показаны скважины, попадающие в пределы его заданной «толщины». В окнах вертикального и горизонтального слайсов отображена линия их пересечения. Эту линию можно захватывать мышью и перемещать, выполняя позиционирование слайсов в пространстве 3D.

Каротажные кривые на скважинах в окне вертикального слайса (см. рис. 5) показывают значения альфа-ПС. Отметки на скважинах представляют результаты ручной корреляции. Можно видеть, что при ручном трассировании стратиграфического горизонта (белые отметки) допущена серьезная ошибка. Ее причиной является наличие палеоруслу. Имея такой инструмент, как DV-Geo, в кубе параметра альфа-ПС можно сделать много открытий. Но,

напомним, образ 3D получился не сам собой, а в результате автоматической корреляции интервалов скважин. Ручная корреляция скважин (как видно на примере ручных границ на рис. 5) дать такой образ не может.

После завершения этапа исследования мы получаем знание о генезисе геологического объекта. Нам остается только его закрепить посредством создания геометрического каркаса модели вручную. Любую видимую в пространстве границу, любой видимый в пространстве пласт мы теперь можем выделить как структурную единицу, устанавливая скважинные отметки через окно вертикального слайса. Визуальная среда DV-Geo позволяет нам внутри информативного, но недостаточно структурированного образа построить точный и геологически обоснованный структурный каркас.

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы: автоматическая процедура может очень точно решить формальную задачу корреляции протяженных интервалов скважин, однако не может разработать гипотезу в отношении генезиса геологического объекта, поэтому геологически обоснованный структурный каркас модели следует создавать вручную, но внутри автоматически созданной трехмерной визуальной среды; традиционная ручная корреляция скважин на электронном планшете содержит гораздо больше ошибок, чем принято считать.

Можно предположить, что все геологические модели на разбуренных площадях предстоит уточнить на основе автоматической корреляции, т. е. что этот резерв повышения качества моделей обязательно будет востребован. Заметим также, что геостатистические модели нуждаются в точной корреляции скважин ровно в той же мере, что и детерминированные. Какие трудности нас ждут на этом пути? Главная трудность – стандартизация данных ГИС. Редактирование каротажных кривых может потребовать немало времени. Для автоматических процедур правило «мусор на входе – мусор на выходе» является актуальным.

Список литературы

1. Моделирование залежей углеводородов. Корреляция разрезов скважин в автоматическом и полуавтоматическом режиме с помощью программы AutoCогг / И. С. Гутман, И. Ю. Балабан, Г. П. Кузнецова, В. М. Староверов // SPE Российская нефтегазовая техническая конференция и выставка, 3–6 октября 2006 г., Крокус Экспо, Москва, SPE 104343.
2. Отечественный комплекс AutoCогг для выполнения корреляции разрезов скважин в автоматическом и полуавтоматическом режимах, моделирования залежей, подсчета запасов УВ и проектирования разработки / И. С. Гутман, И. Ю. Балабан, Г. П. Кузнецова и др. // Вестник ЦКР Роснедра. – 2005. – № 2.
3. Особенности клиноформенного строения нижней части неокомских продуктивных горизонтов БВ9-22 (ачимовских отложений) Самотлорского месторождения / И. С. Гутман, Г. П. Кузнецова, Ф. А. Шарифуллин и др. // Технология нефти и газа. – 2004. – № 1.
4. Ковалевский Е. В., Гогоненков Г. Н. Программные средства поддержки детальной корреляции скважин по данным ГИС // Геофизика. – 2004. – № 1. – С. 21–26.
5. Ковалевский Е. В., Гогоненков Г. Н., Перепечкин М. В. Автоматическая корреляция скважин по данным ГИС – ожидания и реальные возможности // Материалы 68-й конференции EAGE/SEG/EAFG, тезисы P252. – С-Пб., 2006.
6. Kovalevskiy E. V., Gogonenkov G. N., Perepechkin M. V. Automatic well-to-well correlation based on consecutive uncertainty elimination // 69th EAGE Conference, H038. – London, 2007.